

УДК 621.7.04

Ю. В. Замараева

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

zamaraevajulia@yandex.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

ОБЖАТИЕ МАГНИЕВОГО ШАРА ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Областью применения разработки является изготовление шаров из магниевых сплавов для применения в бурильных работах. Предложено подвергать шары воздействию жидкости высокого давления в гидростате. Для оценки объемных деформаций, возникающих при пластическом сжатии шара, применено поле кинематически возможных скоростей в сферической системе координат. После операций частного дифференцирования и упрощения формул получено выражение для расчета степени деформации объема.

Ключевые слова: магниевые шары, расчет деформаций, уплотнение, компоненты тензора деформации

J. V. Zamaraeva

COMPRESSION OF A MAGNESIUM BALL BY HYDROSTATIC PRESSURE

The scope of development is the manufacture of balls of magnesium alloys for use in drilling operations. It is proposed to expose the balls to the action of a high-pressure fluid in a hydrostat. To estimate the volumetric deformations arising during plastic compression of the ball, the field of kinematically possible velocities in a spherical coordinate system is applied. After operations of partial differentiation and simplification of formulas, an expression is obtained for calculating the degree of volume deformation.

Key words: magnesium balls, strain analysis, compaction, strain tensor components

Внефтедобыче магниевые шары выполняют роль клапанов, временно запирающих скважины и саморастворяющихся под воздействием бурильных растворов [1]. Для изготовления шаров применяют различные способы обработки металлов давлением [2], а некоторые из этих способов предлагалось применять для шаров из магния [3].

Одним из наиболее дешевых способов производства шаров при малом сортаменте является отливка цилиндрической заготовки и последующее вытачивание из нее шара на токарном оборудовании. При этом возникает проблема наличия остаточной пористости как наследия литейного передела. Вариантом ликвидации этой пористости является обжатие заготовки жидкостью высокого давления, например, в гидростате. Схема обжатия приведена на рис.

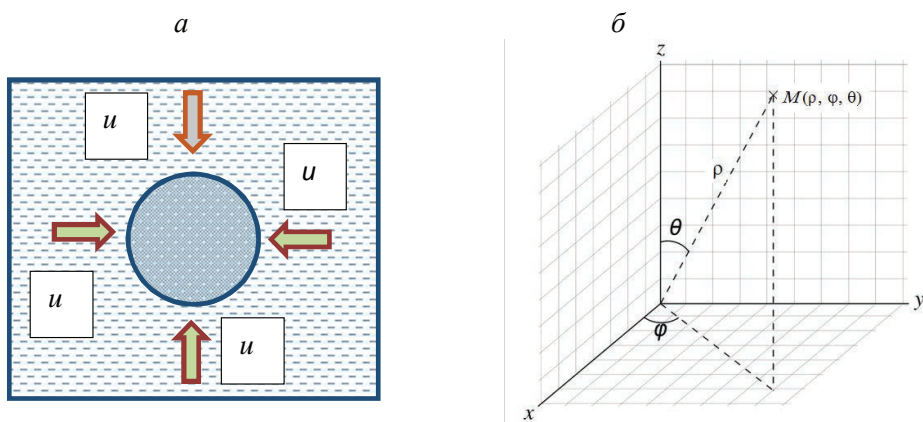


Рис. Схема обжатия шара жидкостью высокого давления (а) и сферическая система координат $\rho\varphi\theta$ (б), размещенная в декартовой системе $xuyz$

При отсутствии сдвигов в сферической системе координат тензор деформаций описывается компонентами $\varepsilon_{\rho\rho}$, $\varepsilon_{\varphi\varphi}$, $\varepsilon_{\theta\theta}$:

$$\varepsilon_{\rho\rho} = \frac{\partial u_{\rho}}{\partial \rho}; \quad (1)$$

$$\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{\partial u_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{u_{\rho}}{\rho}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\varphi\varphi} = \frac{1}{\rho \sin \theta} \frac{\partial u_{\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{u_{\theta}}{\rho} \operatorname{ctg} \theta + \frac{u_{\rho}}{\rho}. \quad (3)$$

Если центр координат совместить с центром шара, то при упругом или пластическом сжатии шара возникнет перемещение частиц u_{ρ} , направленное к центру шара. Допустим, что поверхность шара смещается внутрь с величиной перемещения u .

Тогда возникает два граничных условия

$$u_{\rho} \big|_{\rho=0} = 0 ; \quad (4)$$

$$u_{\rho} \big|_{\rho=R} = -u . \quad (5)$$

Здесь знак минус означает, что перемещение осуществляется против направления оси ρ . Учтем, что если перемещение осуществляется строго в направлении центра, то $u_{\theta} = u_{\varphi} = 0$, т. е. угловые перемещения отсутствуют. Далее необходимо создать кинематически возможное поле перемещений, то есть такое поле, которое удовлетворяет граничным условиям кинематики. Для компактного материала здесь понадобилось бы также применить условие несжимаемости, но можно считать, что среда как раз пластически сжимаемая, что позволяет осуществить уплотнение.

Походящая функция для описания перемещения $u_{\rho} = -u \cdot \rho / R$. Здесь выполняются граничные условия (4) и (5).

Осуществляя дифференцирование и упрощения по формулам (1)–(3) получаем

$$\varepsilon_{\rho\rho} = \frac{\partial \left(-u^* \frac{\rho}{R} \right)}{\partial \rho} = -\frac{u}{R} ; \quad (6)$$

$$\varepsilon_{\rho\rho} = 0 + \frac{-u^* \frac{\rho}{R}}{\rho} = -\frac{u}{R} ; \quad (7)$$

$$\varepsilon_{\varphi\varphi} = 0 + 0 + \frac{-u^* \frac{\rho}{R}}{\rho} = -\frac{u}{R} . \quad (8)$$

Здесь видно, что при обжатии шара компоненты тензора деформации оказались равными, что следовало ожидать из условия симметрии. Если целью обжатия является ликвидация пористости, то придется рассчитать степень деформации объема

$$\varepsilon = \varepsilon_{\rho\rho} + \varepsilon_{\varphi\varphi} + \varepsilon_{\theta\theta} = 3\varepsilon_{\rho\rho} = -3u/R \quad (9)$$

и воспользоваться кривыми упрочнения для сжимаемого материала [4]. После этого удастся рассчитать необходимое давление гидростата.

Литература

1. Effects of alloying elements on microstructure and properties of magnesium alloys for tripling ball / D. H. Xiao [et. al.] // Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science. 2015. V. 46 (10). P. 4793–4803.
2. Высокопроизводительная технология изготовления магниевых заготовок под закрытую штамповку / С. П. Буркин [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2001. № 1. С. 11–15.
3. Логинов Ю. Н., Буркин С. П., Луканихин Н. Ю. Исследование штамповки шаров из цилиндрических заготовок // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 1998. № 10. С. 34–37.
4. Развитие методов математического моделирования пластической деформации металлических пористых сред / Ю. Н. Логинов // Научно-технические ведомости СПбГТУ. 2005. № 2 (40). С. 64–70.